

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství**

**Katedra tváření materiálu**

**TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ NOVÉHO TYPU NÁPRAVY**

**THE FORMING TECHNOLOGY OF NEW TYPE OF AXLE**

**Bakalářská práce**

Autor:

Kateřina Laubrová

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Radim Kocich, Ph.D.

## Zadání bakalářské práce

Student: **Kateřina Laubrová**  
Studijní program: B2109 Metalurgické inženýrství  
Studijní obor: 2109R038 Moderní metalurgické technologie  
Téma: **Technologie tváření nového typu nápravy**  
**The forming technology of new type of axle**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor výroby železničních náprav a soukolí
3. Experimentální analýza nového typu kované nápravy
4. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ZERBST, U., KLINGER, C., KLINGBEIL, D. Structural assessment of railway axles – A critical review. *Engineering Failure Analysis*, 2013, 35, 54-65.  
[2] ZERBST, U., BERETTA, S., KÖHLER, G., LAWTON, A., VORMWALD, M., BEIER, H., KLINGER, C., ČERNÝ, I., RUDLIN, J., HECKEL, T., KLINGBEIL, D. Safe life and damage tolerance aspects of railway axles – A review. *Engineering Fracture Mechanics*, 2013, 98, 214-271.  
[3] HIRAKAWA, K., TOYAMA, K., KUBOTA, M. The analysis and prevention of failure in railway axles. *International Journal of Fatigue*, 1998, 20, 135-144.  
[4] AHN, D., LEE, H., CHO, J., GUKI, D. Improvement of the wear resistance of hot forging dies using a locally selective deposition technology with transition layers. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2016, 65, 257-260.  
[5] SOMMER, B. *Technologie kování*. Ostrava, 1978, 200 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Radim Kocich, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Toman

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# Zásady pro vypracování bakalářské práce

## I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 6. Obsah BP                  |
| 2. Originál zadání BP                        | 7. Textová část BP           |
| 3. Zásady pro vypracování BP                 | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení     | 9. Přílohy                   |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |                              |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra .....*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

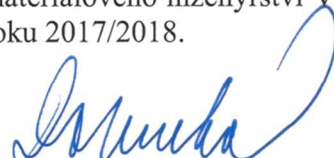
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017

  
**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**  
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava



# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.**

V Ostravě 25.4.2018 .....

Katerina Šašková .....  
podpis (jméno a příjmení studenta)

## **Poděkování**

Chtěla bych tímto poděkovat panu doc. Ing. Radimu Kocichovi, Ph.D., Liboru Kaizarovi, Ing. Jiřímu Weberovi za odborné vedení a podnětné rady a připomínky při zpracování tématu bakalářské práce.

## **ABSTRAKT**

V této bakalářské práci se zabývám technologií tváření nového typu železniční nápravy. Práce obsahuje celkem 4 kapitoly. V úvodní kapitole je popsána historie společnosti BONATRANS GROUP a.s. a technologie výroby železničních kol a náprav. V druhé části se zabývám teoretickým rozbořem výroby železničních náprav a soukolí. V další kapitole popisují navrženou technologii nápravy a výsledky technologických zkoušek

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Kování, železniční náprava, tepelné zpracování, technologický postup

## **ABSTRACT**

In this thesis I deal with the technology of forming a new type of rail axles. Work contains 4 chapters. In the introductory chapter it is described history the BONATRANS GROUP a.s. and technology of the production of railway wheels and axles. The second part deals with theoretical analysis of manufacturing railway axles and wheels. The next chapter describes the remedies proposed technology and results of technological tests.

## **KEYWORDS**

Forging, railway axle, heat treatment, technological process

1	ÚVOD.....	3
2	TEORETICKÝ ROZBOR VÝROBY ŽELEZNIČNÍCH NÁPRAV A SOUKOLÍ.....	4
	2.1 Sortiment výrobku firmy.....	4
	2.2 Postup výroby náprav.....	9
	2.2.1 Materiál k výrobě náprav a jeho kontrola.....	10
	2.2.2 Ohřev.....	10
	2.2.3 Kování.....	12
	2.2.4 Pálení konců náprav.....	14
	2.2.5 Tepelné zpracování.....	14
	2.2.6 Rovnání.....	16
	2.3 Postup výroby kola.....	17
	2.3.1 Vstupní materiál.....	17
	2.3.2 Ohřev.....	18
	2.3.3 Pěchování.....	18
	2.3.4 Tvarování.....	19
	2.3.5 Děrování.....	20
	2.3.6 Válcování.....	21
	2.3.7 Prohýbání na prohýbací lise a dokončení operace kování.....	22
	2.3.8 Tepelné zpracování.....	22
3	ZKOUŠKY.....	23
	3.1 Tahová zkouška.....	25
	3.2 Rázová zkouška v ohybu.....	26
	3.3. Zkouška tvrdosti.....	27
	3.4 Zkoušení lomové houževnatosti.....	28
	3.5 Chemické složení.....	28



3.6 Čistota.....	29
4 EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA NOVÉHO TYPU KOVANÉ NÁPRAVY.....	30
4.1 Požadavky zákazníka.....	31
4.2 Zpracování výkresu.....	31
4.3 Určení teplot pro ohřev materiálu.....	32
4.4 Návrh postupu pro sortiment.....	33
4.5 Výběr tvarových kovadel.....	35
4.6 Určení teplotních režimů tepelného zpracování.....	35
4.7 Technologické zkoušky.....	37
4.7.1 Chemické složení.....	38
4.7.2 Zkouška tahem a rázem.....	38
4.7.3 Metalografické vlastnosti.....	39
4.7.4 Výsledky zpracování.....	40
5 ZÁVĚR.....	43
Seznam použité literatury.....	44
Přílohy	
.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

## 1 ÚVOD

BONATRANS GROUP a. s., dále (BTG) je českou společností se sídlem v Bohumíně na výrobu železničních kol a dvojkolí. Společnost BTG vyvíjí, vyrábí a dodává široký sortiment železničních dvojkolí, kol, náprav, kotoučů a obručí určených pro všechny typy kolejových vozidel do více než 80 zemí světa. Ročně podnik vyrobí a vyexpeduje okolo 150 000 kol, 30 000 dvojkolí a 15 000 náprav. Spadá mezi největší evropské výrobce železničního dvojkolí a řadí se mezi světové lídry v tomto oboru [1].

Cílem této bakalářské práce je charakterizovat postup návrhu zpracování zakázky nového typu hnací nápravy **227.20** z oceli EA4T. Výchozí rozměry pro předvalky vycházely z již vypracovaného výkresu, který byl vyhotoven v dceřiné společnosti BTG v Německu. Celá práce se skládá ze tří tematických kapitol. Přičemž její náplní je uvedený návrh verifikovat nejen z pohledu posloupnosti jednotlivých kroků celé technologie ale i z hlediska ověření vybraných mechanických vlastností finálního výkovku. Celý návrh a následná realizace technologie výroby železniční nápravy je prováděna s ohledem na některé „citlivé informace“, které se vážou k požadavkům plynoucím z této zahraniční zakázky.

Data plynoucí z této práce tak vychází především z experimentů a následných zkoušek prováděných v prostorách a možnostech společnosti BTG.

## 2 TEORETICKÝ ROZBOR VÝROBY ŽELEZNIČNÍCH NÁPRAV A SOUKOLÍ

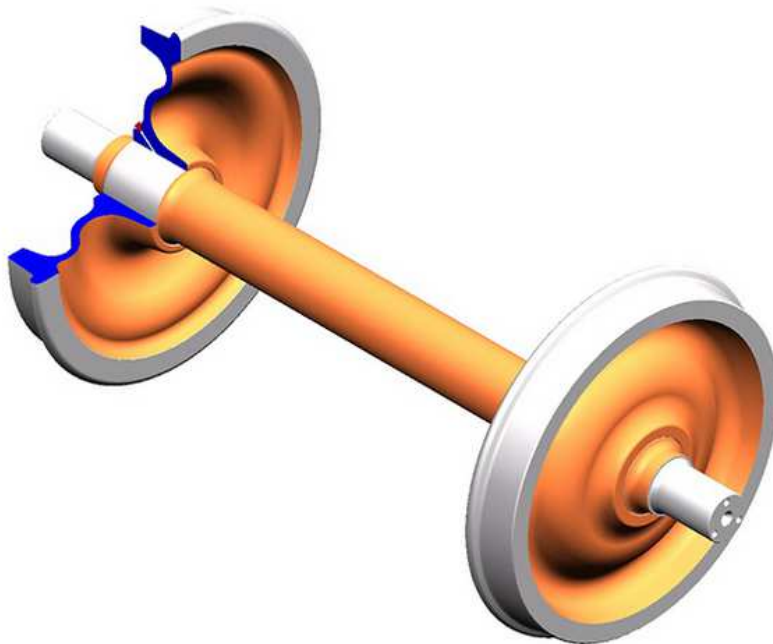
Společnost BONATRANS GROUP a. s. je hlavní evropský konstruktér a výrobce dvojkolí, který dodává železničním společnostem a výrobcům kolejových vozidel kompletní sortiment prvotřídních výrobků a spolehlivých řešení na nejvyšší možné úrovni. Mezi výrobky patří železniční dvojkolí pro vysokorychlostní vlaky a lokomotivy, rovněž se zabývá nízkopodlažním řešením pro městské dráhy včetně pryží odpružených kol a řešením pro tlumení hluku.

Mezi hlavní specifika společnosti patří to, že své výrobky konstruuje spolu se svými zákazníky na základě **jejich** konkrétních požadavků a vedle těchto parametrů se dále zaměřuje na komplexní poprodejní servis včetně dodání náhradních dílů [1].

### 2.1. Sortiment výrobků firmy

**Dvojkolí** – slouží jako hlavní rozhraní mezi vlakem a železniční infrastrukturou. Dvojkolí nese celou tíhu kolejového vozidla, která musí odolat rychlostem až 450 km/ hod. a je proto komponentem, který má klíčový vliv na **bezpečnost** celého kolejového vozidla.

Dvojkolí se skládá ze dvou železničních kol a nápravy, kdy kola jsou na nápravu nalisována za studené a tím se zaručí pevné mechanické spojení, viz obrázek č. 1.



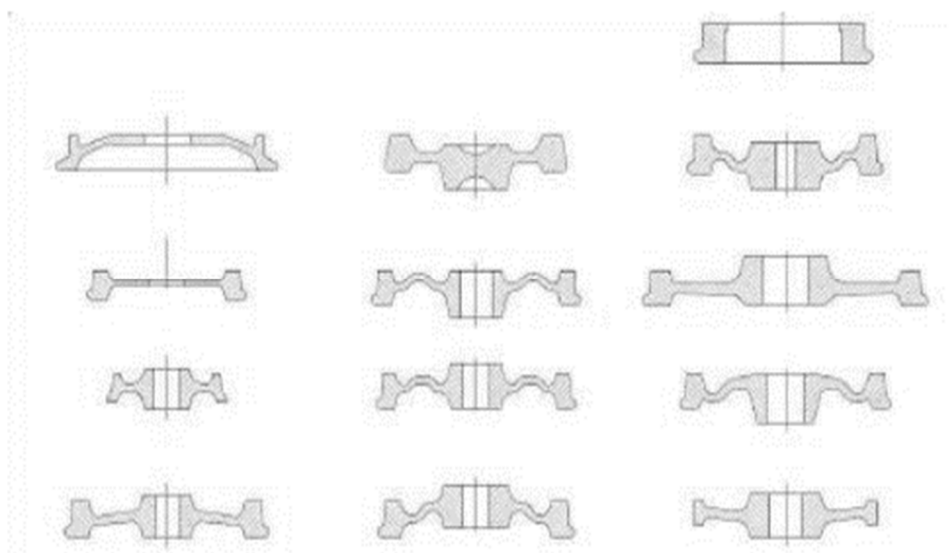
Obrázek č. 1: Schéma jednoduchého dvojkolí [2]

### **Dodávky dvojkolí firmy BTG jsou určena pro:**

- Dvojkolí pro vysokorychlostní vozidla;
- Nízkopodlažní dvojkolí se samostatnou nápravnicí a pryží odpruženými koly;
- Hnací a nehnací dvojkolí pro osobní vozidla;
- Dvojkolí s tlumiči hluku osazenými na kolech;
- Kompletní lokomotivní dvojkolí;
- Napěťově a tepelně optimalizovaná dvojkolí, vč. použití pro těžkou nákladní dopravu [1].

**Kola** – jsou základním prvkem všech kolejových vozidel. Ve výrobě převládají celistvá (monobloková) kola a kola obručová s pryží odpružená (gumikola).

Celistvá kola mívají tenčí profilovanou desku (viz obrázek č. 2), která dovoluje plochu soustružením udržovat a tím zvyšovat životnost výrobku. Desky se dělí na přímé a prohnuté s ohledem k vyrovnání deformací, které vznikají bržděním. Desky prohnuté lépe snášejí teplotní rozdíly mezi věncem a nábojem kola. Celistvá kola mají oproti obručovým kolům nižší hmotnost, ale mají větší náchylnost k lomům, což je značná nevýhoda těchto kol [1].



**Obrázek č. 2: Typy desek monoblokového kola [3]**

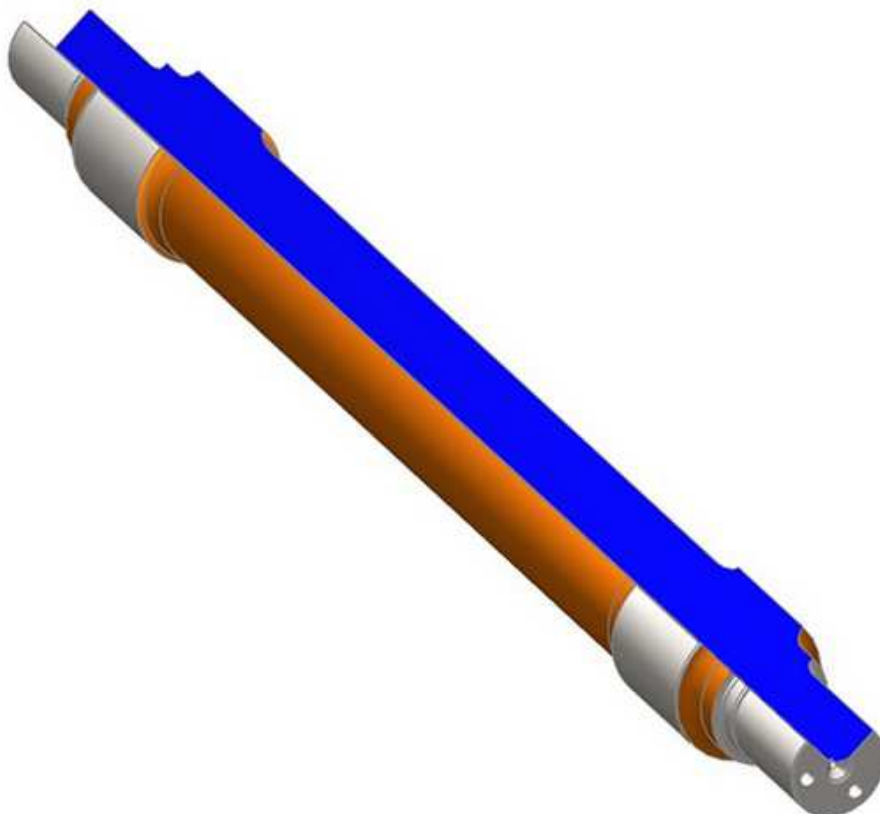
U obručových kol existuje možnost výměny obruče s tím, že se ostatní parametry a komponenty kola zachovají. Nevýhodou těchto kol je složitější výroba a také problémy s uvolňováním obručí.

Pryží odpružená kola mají vynikající tlumivý účinek, který kladně působí na hlučnost vozu a zároveň na snížení opotřebení jízdní plochy kola. Tyto kola se ve většině případů používají u vozů metra [1].

**Společnost BTG vyrábí tyto kola:**

- Speciální kola pro vysokorychlostní vlaky;
- Kola se systémy tlumení hluku;
- Pryží odpružená a vysoce odpružená kola;
- Lokomotivní kola o velkém průměru;
- Kola zpevněná kuličkováním;
- Napětově a tepelně optimalizovaná kola;
- Speciální kola pro doly nebo pomocná kola.

**Nápravy** – jak již bylo zmíněno výše, nápravy jsou součástí dvojkolí. Náprava je hřídel, která rotuje a spojuje dvě kola v železniční dvojkolí, viz obrázek č. 3.



**Obrázek č. 3: Surová náprava [2]**

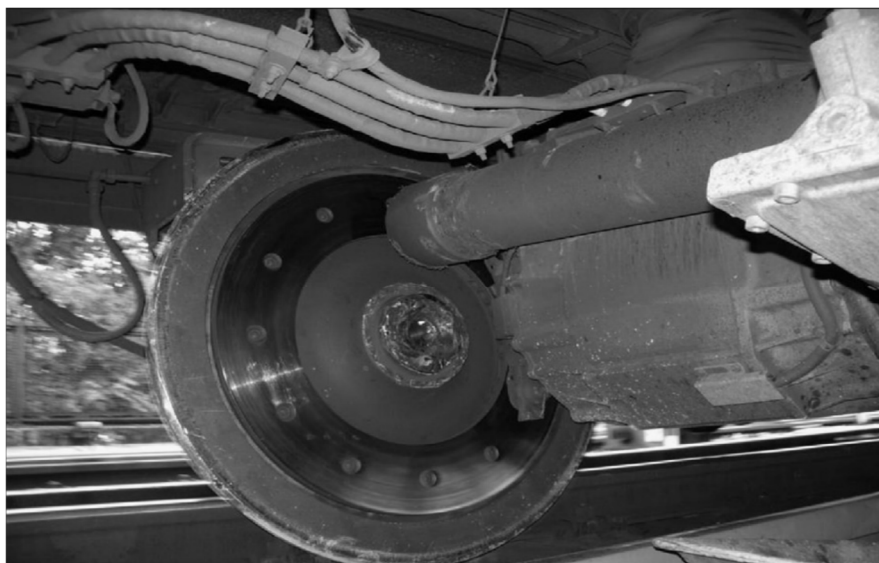
## Typy náprav:

- hnací a hnané;
- s více sedly;
- vrtané a plné;
- s pohonem.

Železniční náprava je během používání neustále vystavena namáhání. Tato namáhání lze rozdělit do několika skupin:

- statické a dynamické zatížení náprav;
- ohýbání a axiální napětí u kolejnic s oblouky, přejezdy a výhybkami
- torzní zatížení při rozjezdu a brždění;
- pnutí z výroby aj. [4]

Z tohoto důvodu se klade důraz na „**bezpečnou životnost**“ a „**toleranci poškození**“, proto je konstrukce a provoz náprav založena na této dvoustupňové koncepci. Mezi zvýšení úrovně bezpečnosti náprav můžeme zařadit například určení životnosti nápravy s ohledem na akumulaci poškození, velmi vysokého potenciálu vzniku koroze, zjištění důvodu pro vznik únavových trhlin, zlepšení nedestruktivního zkoušení a další. [5] Proto bylo v roce 1960 v Japonsku poprvé použito ultrazvukové testování na soukromých železnicích. V roce 1963 byla zavedena defektoskopie pro další zlepšení. Od této doby byly únavové trhliny (obrázek č. 4) v namáhané části zjištěny dříve, než došlo k úplnému prasknutí. Například kolem roku 1970 bylo během 15 měsíců odhaleno 48 náprav s únavovou trhlinou materiálu [6].



**Obrázek č. 4: Únavová zlomenina nápravy [6]**



## **Společnost BONATRANS GROUP a. s. vyrábí nápravy určená pro všechna použití:**

- Hnací a nehnací nápravy;
- Nápravy s dalšími sedly (až se 6 sedly);
- Celistvé nápravy, nápravy s částečným nebo úplným podélným vývrtem, nápravy se závitem;
- Indukčně kalená náprava BONAXLE®<sup>1</sup>;
- Nápravy s povlakem molybdenu;
- Válečkové nápravy;
- Nápravy se speciálními nátěry [1].

**Náhradní díly pro kolejová vozidla – kolejová vozidla** v provozu potřebují pravidelnou výměnu opotřebovaných součástí. Náhradní díly tedy představují významnou část výroby společnosti BTG, která dodává svým zákazníkům kompletní sortiment náhradních dílů potřebných pro údržbu a pro dokonalý výkon jejich výrobků: *dvojkolí, kola a nápravy*.

**Sortiment náhradních dílů:** celistvá kola, nápravy a obruče, dále pryží odpružená kola a komponenty kol (obruče, kotouče, přitlačné kruhy); také nápravnice pro samostatná kola a portálové nápravnice; pryžové segmenty pro pryží odpružená kola; upevňovací materiál pro pryží odpružená kola; zemnicí kontakty a zemnicí bočníky; ložiska a ložiskové skříně; kovové komponenty spojené pryží; koncové desky; brzdové destičky a brzdové čelisti a v neposlední řadě také brzdové kotouče.

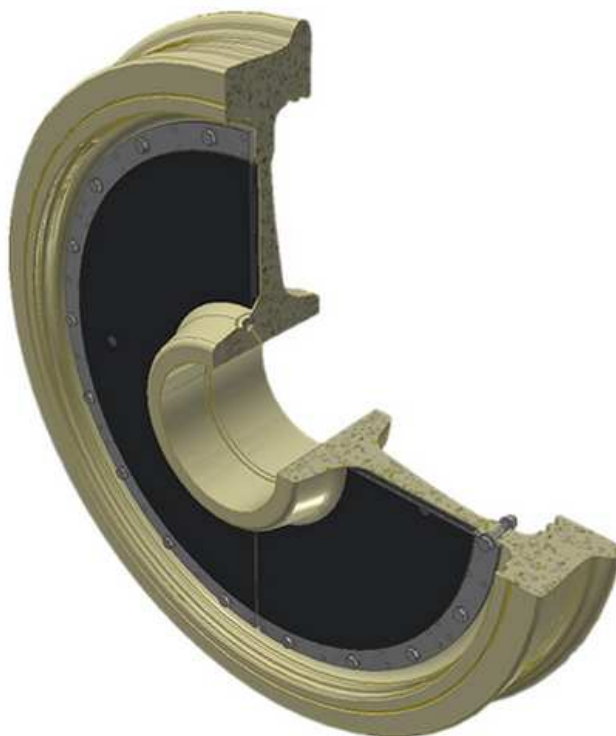
**Tlumiče hluku – společnost BTG** věnuje otázce „hluku“ velkou pozornost. Oddělení výzkumu a vývoje společnosti se podařilo vyvinout celou řadu řešení snižujících hluk způsobený provozem železničních kol (obrázek č.5). Toho dosahuje pomocí speciálně vyvinutých tlumičů hluku osazených na kolech. Takto vyrobené tlumiče hluku jsou schopny dosáhnout snížení valivého hluku až od 5 dB (A).

---

<sup>1</sup> **BONAXLE®.** – jedná se o vskutku nejpokročilejší a nejkomplexnější řešení nápravy, které je na trhu k dispozici. Jako jednotlivé prvky ochrany mohou sloužit ošetření povlakem molybdenu, válečkování nebo celá škála speciálních nátěrů.

### **Výhody tlumičů hluku vyrobených společností:**

- Vysoký tlumicí účinek;
- Využitelnost ve všech typech železničních vozidel;
- Životnost není omezena životností kol;
- Nízká hmotnost (cca 10 kg);
- Snadná údržba;
- Konstrukce přizpůsobená konkrétním potřebám zákazníka.



**Obrázek č. 5 Deskový tlumič hluku [2]**

Tato část obsahuje materiálový tok teplé části výroby dvojkolí a jeho kroky během výroby komponentů.

### **2.2 Postup výroby náprav**

- Vstupní kontrola materiálu
- Ohřev materiálu
- Kování
- Pálení
- Značení
- Tepelné zpracování

- Rovnání
- Tryskání a zkoušení

### 2.2.1 Materiál k výrobě náprav a jeho kontrola

Pro výrobu náprav se používají ocelové předvalky převážně čtvercového průřezu, výjimečně i kruhového. Kvadráty o rozměrech od 180 mm do 280 mm (300 mm) jsou dodávány v blocích nebo v násobných délkách. Násobné délky se zpracovávají na pásové pile LAZARI [3].

Jakostní příklady ocelových předvalků:

- A1N, resp. EA1N (C~ 0,50 %, Mn~1,2%)
- A4T, resp. EA4T (C~0,22-0,29 %, Mn~0,50-1,2%)

Kontrola se zaměřuje na délku daného předvalku. Pro měření se používá cejchovaný svinovací metr nebo tyč. Poté se kontroluje průřez cejchovaným posuvným měřidlem, případně obkročným měřidlem. Poslední částí kontroly předvalku je vizuální kontrola, kdy se zkontroluje povrch, za účelem odhalení povrchových trhlin. Jiné speciální podmínky musí být uvedeny v technických dodacích podmínkách [7].

Vlastnosti chemické a mechanické i tepelné zpracování udávají technické normy. V současnosti se používá například norma ČSN EN 13621 + A1 – Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Nápravy – Požadavky na výrobek, z května 2011. Dále se používají předepsané pracovní postupy:

- UIC 811–1
- DIN 25CrMo4
- ON 42 0273
- GOST 4728–89
- AAR – M–101–90

### 2.2.2 Ohřev

Pro ohřev je charakteristické zvyšování teploty na požadovanou teplotu a následná výdrž na této teplotě. Teplotu volíme podle typu materiálu. Velmi důležitá je také rychlost ohřevu, kde posuzujeme nákladnost ohřevu a vznik okují, které jsou pro další postup nepříznivé. Doby ohřevu jsou uvedeny v DTP [7], o kterých rozhoduje technolog kovárny.

Cílem je zvýšení tvářitelnosti materiálu, rozpustnosti precipitátů, zrychlení difúzních pochodů, zlepšení homogenizace struktury a snížení vnitřního pnutí a deformačního odporu.

Pro náhřev slouží kroková nahřívací pec s pevnou nístějí, kdy se předvalky nahřívají na 1280 °C (obrázek č. 6). Celková doba náhřevu předvalku se pohybuje kolem 4 hodin, kdy předvalek projde 4 pecními zónami, kde stráví dobu předepsanou předpisem DTP. Vodní žlaby slouží jako mezi pecní těsnění. Kontrola a manipulace s předvalkem během ohřevu je možná přes boční okénka ve všech pásmech ohřevu [7].



**Obrázek č. 6 Materiál ohřátý v krokové peci [3]**

Nahřívání probíhá pomocí zemního plynu. V peci se nacházejí vířivé hořáky s automatickou regulací teploty. Maximální počet předvalků v peci je 30 ks kruhového průřezu, nebo 40 ks čtvercového průřezu [7].

Pro vyjímání předvalků slouží speciální vyjímací stroj a po odokujení v mechanickém a hydraulickém odokujovači je předvalek připraven ke kování (obrázek č. 7).



**Obrázek č. 7 Odokujení [3]**

### **2.2.3 Kování**

Hlavními významy kování je zaprvé, aby se postupnými kovacími postupy docílilo využití tepelné tvárnosti předvalku, který jsme ohřívali a přeměnit jej z výchozího tvaru na tvar, který je dán v dokumentaci výrobku. Protvářením se zbavujeme povrchových a vnitřních vad. Mezi tyto vady patří například trhliny, bubliny, dutá místa a další. Druhý význam spočívá v dostatečném prokování materiálu (obrázek č. 8). Stupeň prokování označuje poměr

$$p = \frac{S_0}{S_k} \text{ při kování}$$

$S_0$  [m<sup>2</sup>] ... průřez materiálu před tvářením

$S_k$  [m<sup>2</sup>] ... průřez materiálu po kování

Během deformace materiálu dochází ke změně tvaru primárních krystalů a následkem dynamické rekystalizace se zrna mění za nová, jemnější [7].



**Obrázek č. 8 Kování nápravy [3]**

### **Technologický postup kování**

Kovací postup se skládá z deseti kroků, viz příloha č. 1. Jako první v pořadí je nahřátí vstupního materiálu a jeho odokujení. Druhým krokem je kování kvadrátu na kovádle č. 1 na daný průměr. Poté se vykove čep a prašník v kovádle č. 2. Po tomto vykování se náprava otočí a pokračuje se kováním druhého konce nápravy opět na kovádle č. 1. Šestým krokem se vykove dřík v kovádle č. 3, který následuje vykování čepu a prašníku na kovádle č. 2. Poté se na nápravě upálí konce na palicím stroji a rovná se po tepelném zpracování. Posledním desátým krokem je hotová neopracovaná náprava ve studeném stavu.

Během celého postupu není zadána minimální teplota materiálu. Jediným omezením je pouze maximální síla kovacího lisu při dokončování nápravy. Pro většinu náprav trvají tyto operace do čtyř minut od zahájení kování [7].

Pro kování náprav se používají otevřená tvarová kovádla, která umožňují spojit pēchování a prodlužování, což příznivě ovlivňuje technologii a metalurgii kování.

- Účel pēchování spočívá v tom, že je potřeba zmenšit výšku výkovku a zvýšit jeho příčný průřez při zvýšení stupně prokování a snížení mechanických anizotropních vlastností. Cílem je dosažení radiálního průběhu vláken.



- Při prodlužování stlačujeme materiál, který posouváme a hraníme, kdy je výsledným efektem prodlužování výkovku. Kování s tvarovými kovádky umožňují kování na širší ploše, což má příznivý vliv na napjatost a zamezení šíření. Oproti volným kovádlům má kování s tvarovými kovaly o 20 až 40 % větší produktivitu [7, 8].

#### 2.2.4 Pálení konců náprav

Náprava se po vykování a otočení na točně dopraví válečkovým dopravníkem k řezacímu kyslíkovému stroji. Zde stroj upálí konce náprav na potřebnou délku (obrázek č. 9). Stroj je napojen na rozvod kyslíku a zemní plyn. Po pálení vyrazí razicí zařízení s automatickou výměnou znaků identifikační znaky nápravy (tavba, pořadové číslo). Poté nápravu čeká žíhání a kalení [7].



**Obrázek č. 9 Pálení konců náprav [3]**

#### 2.2.5 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování je prováděno proto, že náprava má po vychladnutí nerovnoměrnou mikrostrukturu, která vznikla v důsledku rozdílného stupně protváření ve směru od povrchu ke středu průřezu. Tepelným zpracováním se dosahuje sjednocení mikrostruktury, snížení pnutí a upravení velikosti zrna.

Tepelné zpracování ovlivňuje několik faktorů

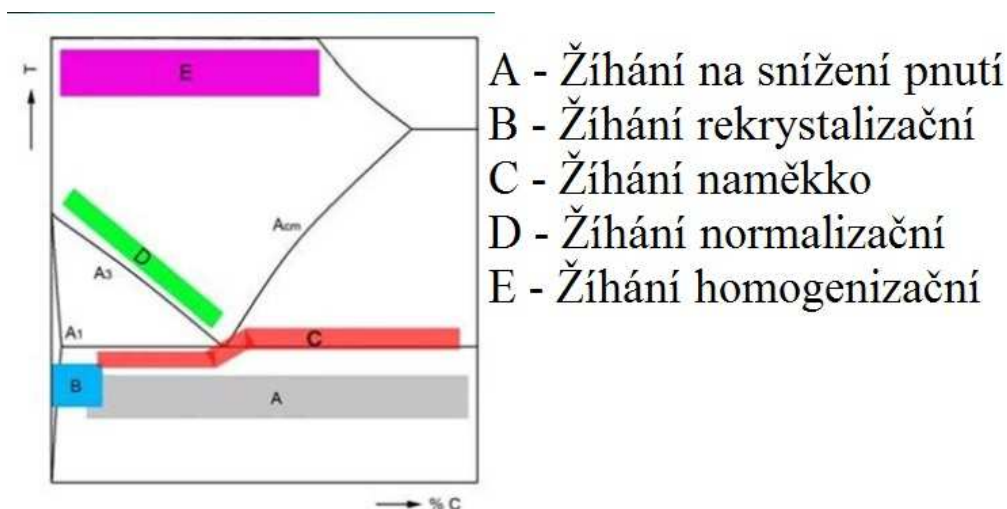
- Rozdíly v průměrech a hmotnostech náprav

- Teplota, na kterou náprava vychladne před tepelným zpracováním
- Chemické složení nápravy
- Samostatná doba kalení
- Objem a teplota vody, která nápravu chladí
- Doba výdrže a teplota na zadané popouštěcí teplotě

Po pálení chladne náprava minimálně jednu hodinu na krokovém dopravníku, než může být vsazena do krokové žíhací pece, kde se nahřívají na předem zadanou teplotu, kterou určí technolog s ohledem na jakost materiálu. Firma disponuje dvěma takovými pecemi, které mají pevnou nístěj. V této peci se náprava zahřívá po dobu minimálně pěti hodin a maximálně dvanácti hodin, dle hmotnosti nápravy. Vše je řízeno předpisem DTP, který pro daný typ vypracuje technolog provozu kovárna [7].

### EA1N: Normalizační žíhání

Toto žíhání je založeno na pomalém ohřívání nápravy na normalizační teplotu, která je na obrázku č. 10 vyznačena zelenou částí s písmenem D. Normalizační teplota je o 50 °C vyšší než teplota A3, což je 870 °C Jakmile se tato teplota naměří ve středu nejširší části nápravy přichází na řadu setrvání na této teplotě. Doba setrvání se odvíjí od chemického složení každého typu nápravy, pohybuje se zhruba kolem 6,5 hodin. Po uplynutí této doby se náprava pomalu ochlazuje na okolní teplotu. Pro regulování mechanických vlastností a napětí v nápravě se používá kombinování s popouštěním. Díky překrystalizaci dojde ke zjemnění zrna, což ve výsledku znamená lepší mechanické vlastnosti. Proto se také používá dvojnásobné normalizační žíhání v kombinaci s popouštěním. Například u jakosti GRADE F podle AAR-M-101 [9, 10].



Obrázek č.10 Žíhací teploty [10]

### **EA4T: Kalení**

Kalení je pomalý ohřev a výdrž nápravy na teplotě kalení, která je určena jako teplota o 30 °C vyšší než teplota A3 a následné zchlazení. Doba kalení je taktéž závislá na chemickém složení

nápravy. Poté se náprava ochladí v kalícím médiu, což ne voda, kde stráví náprava za rotace 12-18 minut (obrázek č. 11). Teplota musí být o zhruba 50 °C nižší ve středu nejširší části nápravy, než je konečná teplota transformace oceli. Většinou jde o konec martenzitické transformace. Po dokončení kalení musí nápravy pomalu zchladnout na okolní teplotu [11].



**Obrázek č. 11 Kalení nápravy [3]**

### **Popouštění**

Popouštění se pohybuje v rozmezí teplot 450–680 °C po dobu předepsané doby. Tato doba je většinou 6 hodin. Tímto se snižuje vnitřní pnutí, které kalením vznikne a dosahujeme žádaných mechanických vlastností. Popouštění poté určuje konečnou úroveň mechanických vlastností a mikrostruktury nápravy a snižuje úroveň zbytkového napětí. Norma AAR M, která je v Americe, spojuje jakost grade H výhodu normalizačního žíhání, kalení a popouštění. [11]

### **2.2.6 Rovnání**

Během tepelného zpracování dochází k prohýbání a deformaci tvaru. Tyto nežádoucí procesy je potřeba na rovnacím lise RAV-DH-150 odstranit. Tento lis je součástí Bonatrans

linky. Má dvě pozice, proto je možné narovnat nápravy z obou pecí. Maximální zakřivení je 4,99 mm.

Po rovnání se náprava otryská a určený kus je odeslán na zkušebnu náprav k následnému zkoušení.

## **2.3 Výroba kola**

Tato část práce se bude okrajově týkat výrobního postupu kola vzhledem k rozdílnosti výrobního postupu.

Při výrobě kola se postupuje tímto způsobem

- Kontrola materiálu při vstupu
- Nahřívání v karuselové peci
- 1. operace – Pěchování
- 2. operace pěchování – Tvarování
- Děrování
- Válcování
- Prohýbání desky (dokončovací práce na lise)
- Tepelné zpracování
- Kontrola surových dílů

### **2.3.1 Vstupní materiál**

Vstupním materiálem pro výrobu kol je plynule odlévaná vakuovaná ocel požadovaných vlastností. Většinou délku 6 m a průměr od 310 až 525 mm. Hmotnost je v rozmezí 3,3 až 9,5 tun. Tento materiál je řezán na pilách LAZZARI, FRAMAG a Wagner řeznými kotouči s průměrem do 1500 mm na špalky s hmotnostní tolerancí do 3 kg [12], viz obrázek č. 12.



**Obrázek č. 12 Vstupní materiál [3]**

### **2.3.2 Ohřev materiálu**

Nařezané špalky se nahřívají v karuselové peci s otočnou nístějí na teplotu tváření 1250-1280 °C po dobu 3,5 až 5 hodin. Ohřev musí probíhat rovnoměrně v celém průřezu špalku [12], viz obrázek č. 13.

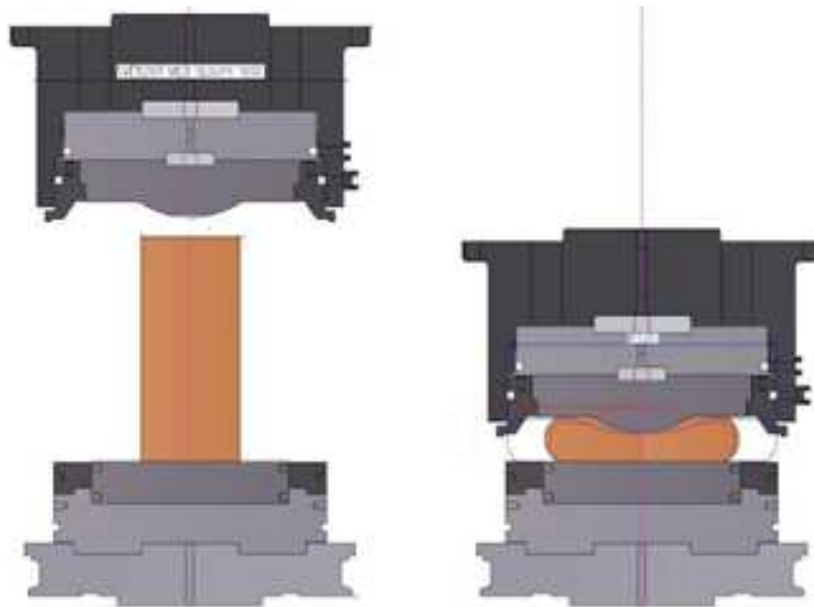


**Obrázek č. 13 Ohřev špalku [3]**

### **2.3.3 1. operace – Pěchování**

Materiál je po nahřátí pěchován hydraulickým kovacím lisem s tvářecí silou 56 MN a k práci používá dvě fáze – pěchování a tvarování. Materiál, který byl zahřán na teplotu kování, uchytí

čelisti vyjímacího stroje a je přemístěn na spodní pěchovací zápustku kovacího lisu, která je v pozici pro základní pěchovací operaci. Během tohoto přesunu je špalek mechanicky zbaven okují a dočištěn proudem tlakové vody. Po vycentrování je špalek zapěchován na výšku danou v tvářecím postupu [12], viz obrázek č. 14.

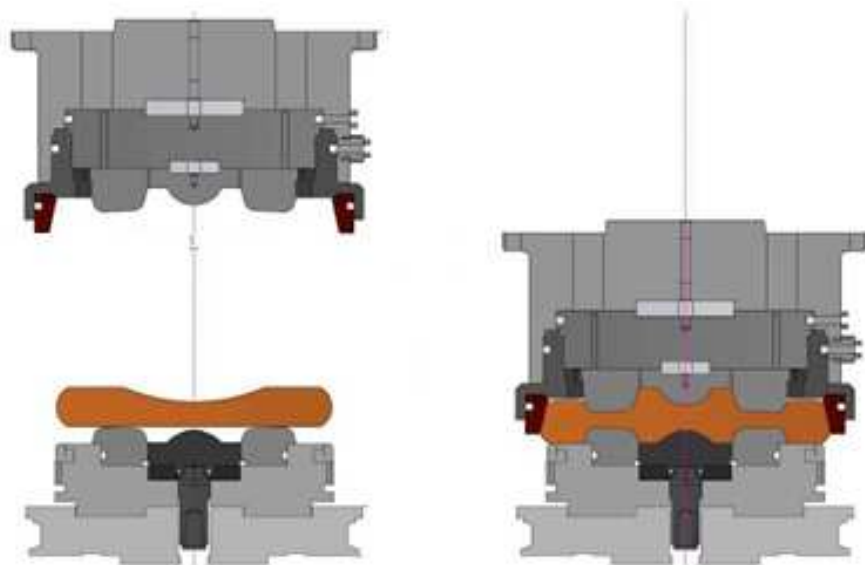


**Obrázek č. 14 Vizualizace pěchování materiálu [3]**

#### **2.3.4 2. operace pěchování – Tvarování**

Při této operaci je zapěchovaný špalek následně manipulátorem nadzvednut, pěchovací kovádla se uvolní a přesunou. Na pracovní pozici se dostanou kovádla tvarová, které předkovku dají výkresem daný tvar náboje, je vytvarován předběžný tvar desky a věnec kola pro další operace. Na horní plochu tvarovacího kovádla je před touto operací nanесena směs grafitu a vody a zapěchovaný špalek se poté položí na spodní tvarovací kovádlo, sestava se „uzamkne“, špalek se vycentruje a následně vytvaruje do předběžného tvaru [12], viz obrázek č. 15.

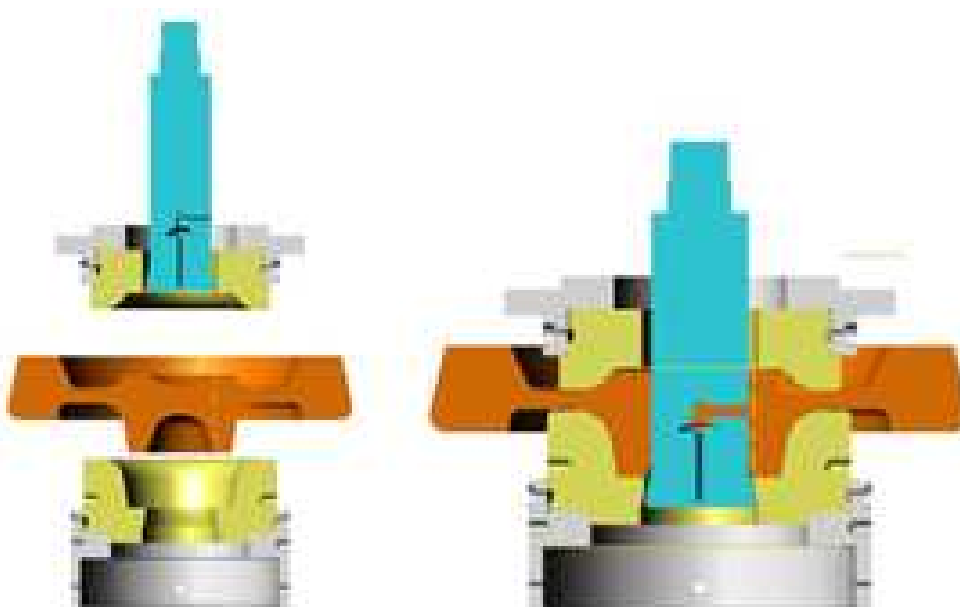




**Obrázek č. 15 Vizualizace 2 operace pěchování [3]**

### **2.3.5 Děrování**

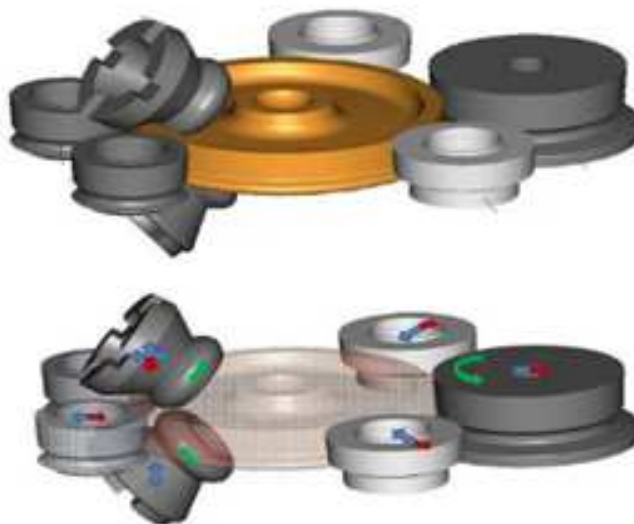
Výkovek se poté z kovací ho lisu přesune pomocí manipulátoru na lis děrovací. Zde je výkovek sevřen v poloze mezi průstřižnicí a horním přidržovacím nástrojem. Následně je natlačen na průstřižnici, kde je vyděrován, viz obrázek č. 16. Vyděrovaný materiál padá do bedny, která je umístěna pod děrovacím lisem [12].



**Obrázek č. 16 Vizualizace děrování [3]**

### 2.3.6 Válcování

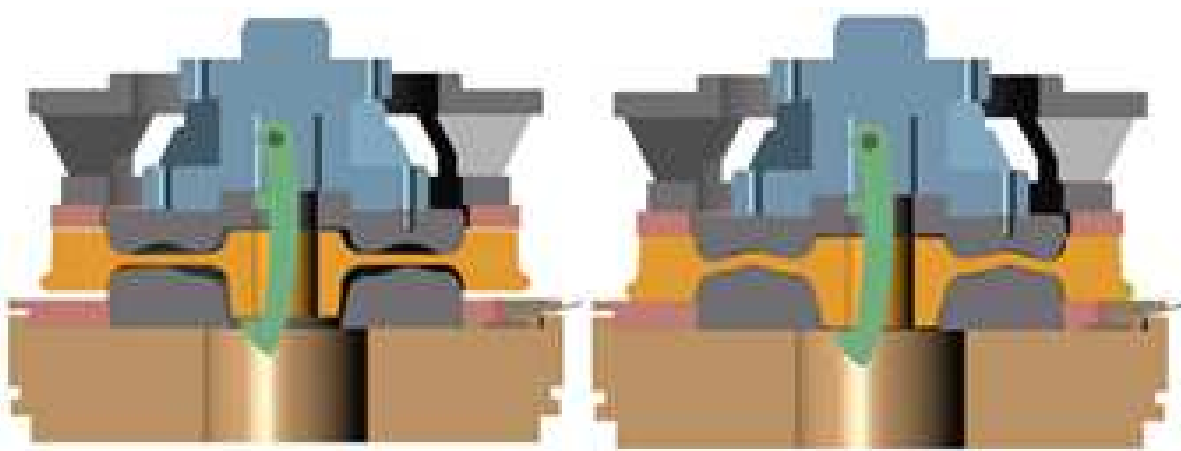
Po tvarování a děrování je výkovek přemístěn manipulátorem na válcovačku Davy, kde jsou v klidné zavážecí poloze přichystány válcovací válce. Vodící válce s válcem hlavním jsou posunuty a rozválnovací válce jsou roztáhnuté. Po přivezení výlisku jej manipulátor uvolní a výlisek je posunut do válcovací pozice (obrázek č. 17). Rozválnovací válce výkovek uchopí a začnou jej roztáčet. Ze začátku se válce otáčejí nízkou rychlostí a po zhruba 6 otáčkách a dosednutí ostatních válců se začne výkovek válcovat rychlostí okolo 60 otáček za minutu. Všechny rozválnovací válce jsou v průběhu válcování chlazeny tryskající vodou. Voda, která dopadne na desku kola, je vyfukována tlakovým vzduchem. Každé kolo je změřeno a informace o něm jsou odeslány přímo k operátorovi, který se nachází ve válcovací kabině. Díky těmto informacím může operativně dle potřeby upravovat síly válcování. Přibližně 20 mm od dosažení daného průměru je vypnut tlak, který byl vyvíjen na hlavní válce. Působením síly získá kolo na průměru a vytvarovává se okolek a nákoklek. Při vyválnování kola na předepsané rozměry jsou vypnuty všechny tlaky, které působily na válce a kolo se pomalu přestane otáčet. Takto vyválnované kolo je ukladačem, nebo v případě poruchy ukladače mostovým jeřábem za pomoci kleští, přesunuto na prohýbací lis. V době, kdy je kolo v tzv. vyčkávací poloze, to je doba, kdy je kolo drženo čelistmi ukladače před uložením na prohýbací desku, je přeměřeno valcířem, zda odpovídá postupu tváření. Nyní se válce přesunou zpět do výchozích pozic [12].



Obrázek č. 17 Vizualizace válcování [3]

### 2.3.7 Dokončovací operace kování

Finální operací kování je tvorba prolisu listu kola. Vývalek je uložen na spodní stůl lisu, který se přesune do pracovní pozice, vnější prohýbací nástroj uchytí čelo věnce kola a vnitřní prohýbací nástroj prohne list kola. Po prohnutí se střední příčník zvedne a hákem je kolo zvednuto z prohýbací zápustky. Spodní stůl se po této operaci vrátí zpět na výchozí pozici. Kolo se poté pomocí otáčejícího válce přemístí na dopravník, který jej dopraví k následnému tepelnému zpracování. [12], viz obrázek č. 18.



Obrázek č. 18 Vizualizace operace prohýbání [3]

### 2.3.8 Tepelné zpracování

Vyválcované kolo poté putuje po třech dopravních pásech. Z posledního pásu je kolo manipulátorem přemístěno na pecní vůz. Až je vůz plně naložen, putuje do austenitizační pece, kde se kolo zahřívá na teplotu vhodnou ke kalení což je zhruba 30-50 °C nad teplotu Ac3 (Obr. 10) a výdrž na této teplotě. Toto trvá zhruba dvě hodiny. Po vyjetí vozu z pece je kolo přesunuto pomocí manipulátoru na kalící zařízení. Pomocí vodní mlhy se zakalí věnec kola horním, středním a spodním ostřikem. Tato operace trvá přibližně 300 vteřin, dle technické dokumentace, kterou má na starosti technolog tepelného zpracování. Po zakalení je kolo uloženo na další pecní vůz, který putuje do normalizační pece, kde se odstraní pnutí,lepší se vyšší pevnostní charakteristiky a tvrdost na věnci kola. Ostatní plochy, náboj a deska, mají

vlastnosti normalizační. Toto trvá zhruba 3 hodiny. Z normalizační pece kolo putuje na chladicí dopravník, kde se ochladí na teplotu kolem 200 °C. Poslední fází je měření a zkoušení.

### **3 ZKOUŠKY**

V této části jsou popsány techniky zkoušení za účelem ověření kvality materiálu nebo hledání příčin nekvality, které se používají ve firmě Bonatrans Group a.s.

Všechny zkoušky jsou prováděny v suchém bezprašném prostředí bez teplotních výkyvů. Teplota tohoto prostředí je 17-28 °C. Kvalita výrobků je dána kvalitou konstrukce a výroby, ale stejně důležitý je také systém, který kvalitu výrobků testuje. Z tohoto důvodu je firma vybavena metalografickou, mechanickou, nedestruktivní a únavovou zkušebnou, která zajišťuje všechny standardní zkoušky dle nejnáročnějších parametrů.

Jakost materiálu a finálních výrobků může být přezkušována zástupci zákazníka, pokud si tak zákazník přeje, avšak většina zákazníků toto svěřuje pracovníkům odboru jakosti.

Metalurgická zkušebna je certifikována dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 jako samostatná nezávislá zkušebna, a kromě provádění služeb pro vlastní firmu nabízí své služby i externím zákazníkům.

Metalurgická zkušebna zajišťuje základní zkoušky, na které má akreditaci. Mimo akreditaci je však oprávněna provádět také jiné zkoušky v oborech mechanického, metalografického, nedestruktivního, chemického a únavového zkoušení:

#### **Mechanické zkoušky**

Slouží především k ověření materiálových charakteristik výrobku určujících jeho odolnost proti silovému působení. Patří zde:

- Zkouška tvrdosti dle Brinella;
- Zkouška tvrdosti dle Vickerse;
- Zkouška tvrdosti dle Rockwella;
- Zkouška rázem v ohybu;
- Zkouška rázem v ohybu za snížené teploty (do -20 °C);
- Zkouška rázem v ohybu za zvýšené teploty;

- Zkouška tahem;
- Zkouška lomové houževnatosti [13].

### **Metalografické zkoušky**

Slouží především k ověření strukturních charakteristik výrobku.

- Baumannova zkouška;
- Zkouška leptáním;
- Stanovení velikosti zrna, srovnávací metoda;
- Stanovení podílu strukturních složek;
- Stanovení oduhličení;
- Hodnocení struktury litin;
- Stanovení mikročistoty [13].

### **Nedestruktivní zkoušky**

Slouží ke kontrole, že výrobky nemají povrchové ani vnitřní vady.

- Ultrazvuková zkouška;
- Magnetická zkouška;
- Zkouška metodou vířivých proudů (prováděna mimo rozsah akreditace) [13].

### **Chemické složení**

- Stanovení C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Cu, Mo, V, B, Ti, Zr, Co, W, Nb, As, Pb, Sn, Al metodou emisní spektrometrie [13].

### **Únavové zkoušky**

- Zkouška únavy kol;
- Zkouška únavy náprav;
- Zkouška únavy;
- Hodnocení odolnosti povlaku proti cyklickému mechanickému namáhání [13].

### 3.1 Tahová zkouška

Tato zkouška slouží ke zjištění pevnosti a odolnosti materiálu vzhledem k plastické deformaci.

Veličiny, které se vyhodnocují:

- Mez pevnosti v tahu –  $R_m$  [MPa] – maximální napětí při deformaci zkušební tyče.
- Mez kluzu –  $R_e$  [MPa] – je napětí, nad nímž dochází k deformaci trvalé. Různé metody, mají různou značku, např.  $R_{p0.2}$ ,  $R_{eL}$ , aj.
- Tažnost –  $A$  [%] – zatupuje trvalou deformaci po zkoušce tahem, která se vztahuje k základní délce zkušební tyče.
- Kontrakce –  $Z$  [%] – reprezentuje zúžení zkušební vzorku.

Zkouška je proces, kdy dojde k deformaci zkušební tyče, která je odebraná z vyrobeného materiálu. Obvykle se zkouší do jeho přetržení.

Místo kde k odběru dojde a jeho orientace je dána buď zákazníkem, nebo technickými podmínkami. Tyč je dlouhá minimálně 60 mm mezi zkušebními hlavami a průměrem 10 mm. Zkušební tyč má tvar tyče se zadaným průměrem střeň části ukončené hlavami ke zkoušení, za které se materiál uchytí do stroje ke zkoušení [14], viz obrázek č. 19.



Obrázek č. 19 ZD-40 trhací stroj [13]



Před samotným zkoušením zkušební tyče je zapotřebí proměřit její průměr a naznačit na její středovou část počáteční měřenou délku pro zjištění její tažnosti. Tyč se vloží do zkušebního trhačního stroje a zahájí se se zatěžování tyče do doby, než dojde k jejímu přetržení. Rychlost se volí v rozmezí 6–60 MPa·s<sup>-1</sup>. Nejčastěji se volí rychlost 30 MPa·s<sup>-1</sup>. Jakmile se zkušební tyč ve stroji upevní, začne se příčník pohybovat směrem vzhůru důsledkem pohybu hydraulického pístu. Snímače dráhy a síly během zkoušky vytváří diagram, kdy na ose x je zaznamenáno prodloužení a na ose y je okamžitá síla [14].

### 3.2 Rázová zkouška v ohybu

Tato zkouška slouží k tomu, abychom zjistili, jak velkou potřebujeme nárazovou práci, aby došlo k rozlomení vzorku. Slouží jako porovnávací veličina, která popisuje odolnost materiálu před porušením při výskytu vrubu.

Hodnocené veličiny:

- KU5 [J] – toto je nárazová práce zjištěná průletem kladiva, které má energii 300 J na vzorek, kde je vrub tvaru písmene „U“ a hloubkou 5 mm.
- KCU5 [J·cm<sup>2</sup>] – pod tímto se skrývá vrubová houževnatost, což je nárazová práce přepočtena na plochu u vzorku s vrubem tvaru písmene „U“ a hloubkou 5 mm.
- KV2 [J] – toto je nárazová práce zjištěná průletem kladiva, které má energii 300 J na vzorek, kde je vrub tvaru písmene „V“ a hloubkou 2 mm.
- KCV2 [J·cm<sup>2</sup>] – pod tímto se skrývá vrubová houževnatost, což je nárazová práce přepočtena na plochu u vzorku s vrubem tvaru písmene „V“ a hloubkou 2 mm.

Tato zkouška se zakládá na rozlomení vzorku ke určeného ke zkoušení s určeným zářezem a měřením práce, kterou spotřebuje vzorek během průletu kladiva [14], viz obrázek č. 20.

Zkoušené těleso má většinou rozměry 55x10x10 mm, kdy 55 mm je délka a 10 mm je výška a šířka. Vrub se nachází ve středové části tělesa určeného ke zkoušení a definuje si jej zákazník. Obvykle se pro zkoušky za normálních podmínek volí vrub U5 a pro zkoušky při snížených teplotách (-20 °C–60 °C) se volí vrub V2. [13] Zkušební vzorek se umístí do zkušebního stroje a spustí se na něj kladivo, které jej rozlomí. Na nainstalované stupnici, nebo digitálním zařízení, se ukáže výsledná nárazová práce, která byla spotřebována v době průletu kladiva vzorkem. Z plochy lomu lze spočítat kolik je % lomu křehkého a % lomu houževnatého [14].



**Obrázek č. 20 Kyvadlové kladivo CHARPY RKP 300 [13]**

### **3.3 Zkouška tvrdosti**

Tato zkouška slouží ke zjištění tvrdosti materiálu. Výsledky slouží k porovnání s hodnotami různých materiálu, nebo pro porovnání výsledku s předepsanou hodnotou tvrdosti [13].

Nejběžnější zkoušky tvrdosti:

- HBW5/750 – zkouška tvrdosti podle Brinella, která se provádí tvrdokovovou kuličkou s průměrem 5 mm je zatěžována silou 750 kp, což je 7355 N –toto je tzv. zkušební zkouška
- HBW10/3000 – Brinellova zkouška s kuličkou o průměru 10 mm, která je zatěžována silou 3000kp, což je 29400 N – toto je tzv. provozní zkouška
- HV30 – zkoušení tvrdosti podle Vickerse, působením síly 30 kp, což je 294 N
- HRC – Rockvelova zkouška s působením síly 150 kp a předzatížením 100 kp

Vzorce pro výpočty tvrdosti vznikaly na základě zkušeností, bez dostačující fyzikální základy. I přes fakt, že se do výrazů pro výpočet dosazují hodnoty s danými fyzikálními jednotkami, je vždy výsledkem tvrdost bez fyzikální jednotky, uvedena je pouze metoda, kterou byla určena (230 HB, 200 HV nebo 40 HRC) [14].

### 3.4 Zkoušení lomové houževnatosti

Touto zkouškou je charakterizována odolnost materiálu před šířením trhlin, kdy je na materiál vyvíjeno tahové napětí.

Během této zkoušky se uměle vytvoří únavová trhlina na vzorku, který se odebere v dopředu dané pozici zkušebního výrobku a jeho dalším plynulým zatížením v tahovém napětí, které je kolmé ke směru šíření trhliny. Jedná se o kombinaci rázové zkoušky v ohybu a zkoušky tahem [14].

Šíření únavové trhliny materiálem může být podobné s trhlínami, které vznikají během provozu, což je velká výhoda.

Hodnocená veličina:

- $K_Q$  lépe řečeno  $K_{IC}$  [ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ]

Před etapou výroby únavové trhlin, musí mít délka vady, kterou vyrobíme rozměry, které jsou přesně definovány s určitou tolerancí, z tohoto důvodu je v době přípravy daný rozměr kontrolovat. K tomu nám slouží snímač, který monitoruje rozevření trhliny. Díky tomuto je možné přepočítat délku trhliny z tuhosti. Ve firmě se používá sinusový režim, kdy je materiál zatěžován 30 x za sekundu v rozmezí 0,4-40 tun. Po uplynutí 100 000 cyklů, což trvá přes 55 minut, vznikne v materiálu 30 mm dlouhá trhlina [14].

### 3.5 Zkoušení chemického složení

Tato zkouška nám okamžitě a přesně zjistí chemické složení materiálu, bez potřeby složité přípravy vzorku.

Mezi veličiny, které vyhodnocujeme patří zjištění % prvků: C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Cu, Mo, V, B, Ti, Zr, Co, W, Nb, As, Pb, Sn, Al a další.

Zkouška se provádí energetickým výbojem mezi zkušebním předmětem a elektrodou zařízení. Prostředí je argon s čistotou 99,999 %. Výsledky se vyhodnocují pomocí CCD detektorů. Každá emitovaná částice má svou vlnovou délku, která je pro něj typická, a díky níž lze rozpoznat přítomnost prvku ve zkušebním tělese a dle intenzity můžeme určit danou koncentraci [14].

Před touto zkouškou se musí materiál na povrchu přebrousit, aby se zbavil se různých usazenin, nánosů, zašpinění, mastnoty a dalších [14].

Po tomto očištění se materiál vloží do zkušebního přístroje, kde se v sérii 3 zajiskření mezi vzorkem a elektrodou provede zkoušení. Každé zajiskření zaznamená mezi výsledek. Konečný výsledek je průměrná hodnota těchto tří zajiskření [14].

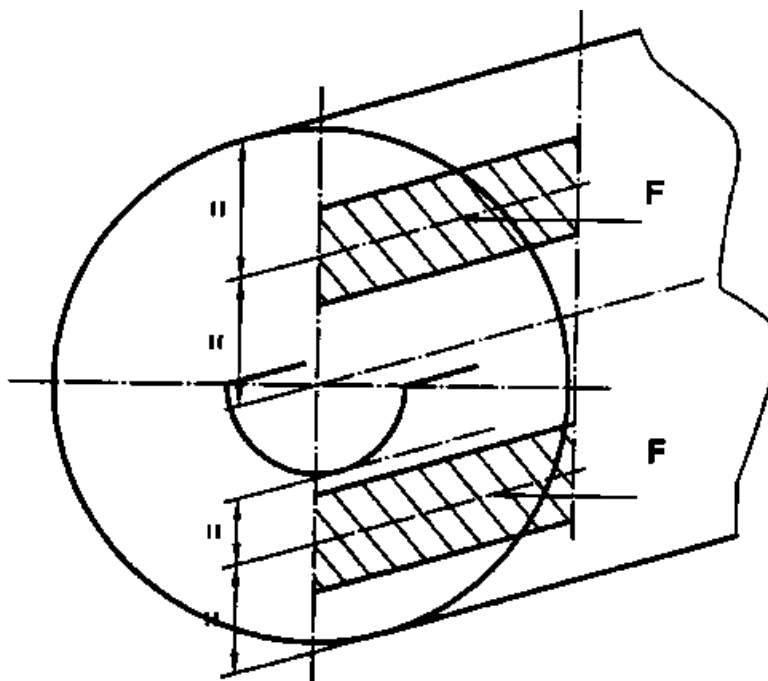
### 3.6 Čistota

Mikrografická čistota se vyhodnocuje dle velikosti vměstků různých typů, které se porovnávají s příslušnými etalony. Patří mezi ně typy síry, hlinitanů, křemičitanu, kysličníků globulárního tvaru. Nejvyšší dosažené hodnoty vměstků ve slabých a silných řadách jsou uvedeny v tabulce č. 1:

**Tab. 1** Nejvyšší hodnoty hrubých a jemných vměstků [15]

Typ vměstků	Kategorie 1		Kategorie 2	
	Hrubá (maximum)	Jemná (maximum)	Hrubá (maximum)	Jemná (maximum)
A (síra)	1,5	1,5	1,5	2
B (hlinitany)	1	1,5	1,5	2
C (křemičitany)	1	1,5	1,5	2
D (globulární kysličníky)	1	1,5	1,5	2
B + C + D	2	3	3	4

Zkouška se provádí na ploše 200 mm<sup>2</sup> ve směru kolmém na šipku F (obrázek č. 21). Zkušební tělesa se musí odebírat z míst s největším průřezem nápravy [15].



**Obr.21 Mikrografická čistota [15]**

Z hlediska pevnosti je náprava namáhána v provozu únavovým ohybem v rotaci s vysokým vlivem tvarové pevnosti. Norma ČSN EN 13261+A1 stanovuje podmínky únavových zkoušek v oblasti konstrukce, vývoje a ověření postupu výroby každého typu nápravy.

#### **4 EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA NOVÉHO TYPU KOVANÉ NÁPRAVY**

Společnost BONATRANS GROUP nabízí zákazníkům kromě výroby železničního dvojkolí dle dodaných výkresů, také celkové řešení konstrukce dvojkolí, kdy jsou zákazníkem určeny okrajové podmínky a zátěžové stavy. Konstrukční oddělení firmy vymyslí výrobek, který tyto podmínky ze stanovených mechanických vlastností, hmotnosti a nákladů na životní cyklus nejlépe splňuje.

Tato část je zaměřena na postup výroby nového typu nápravy a výsledky zkoušek provedených ve zkušební laboratoři společnosti.

Rozvaha rozměrů nápravy byla stanovena výkresem od zákazníka. Pro výrobu byla použita ocel EA4T KAT. 1, která splnila zadané podmínky určené zákazníkem a podmínky dané normou ČSN EN 13261 + A1.

Výkresová dokumentace, viz příloha č. 2, hnací nápravy, kterou byla zákazníkem z Ruska zadána dceřině společnosti, která se nachází v Německu. Ostatní výrobní dokumenty byly zpracovávány technologií společnosti Bonatrans Group a.s.

#### 4.1 Požadavky zákazníka

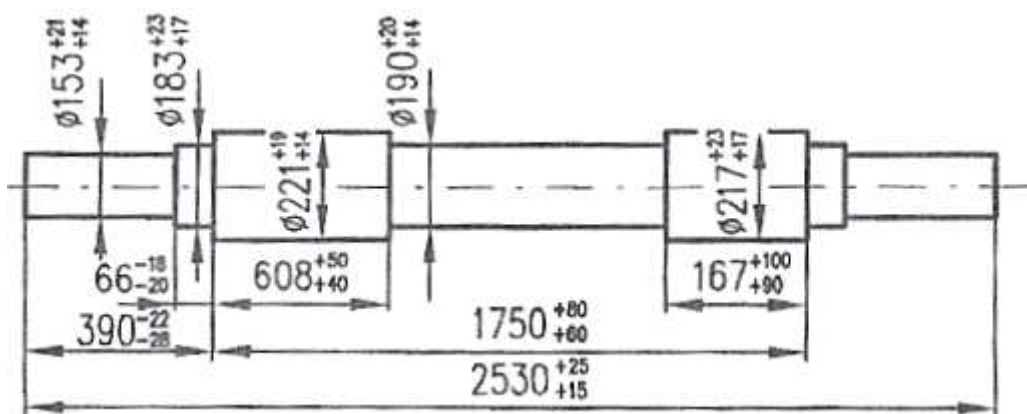
Zákazníkem byla objednána hnací náprava 227.20, kdy technické podmínky byly stanoveny zákazníkem a byly totožné s podmínkami uvedenými v normě ČSN EN 13261 + A1. Jakostně byla zvolena ocel EA4T, která tyto podmínky splňovala.

#### 4.2 Zpracování výkresu

Při zpracování výkresu byl zohledněn přídavek na obrábění, smrštění oceli během chladnutí (1,0123) a další faktory.

#### PŘÍDAVEK NA OBRÁBĚNÍ

Tento přídavek je vrstva materiálu, která se při obrábění odebere, aby vznikla předepsaná součást výrobku, která je uvedena ve výrobním výkresu. Dnes s ohledem k malým tolerancím kování na tvarových kovádlech a přesnosti obrábění můžeme zadat přídavek od 5 mm na průměr u běžné nápravy. Maximální hranice nepřesáhne 10 mm na průměru. (Obrázek č. 23)



Obrázek č. 23 Vzor výkresové části s tolerancemi [16]

## Výpočet předvalku pro nápravu

Ve výpočtu hmotnosti předvalku nápravy je zahrnuta horní mez tolerance, která je dána výkresem a další rozměry uvedeny v tabulce č. 2)

**Tabulka č. 2 Výpočet objemu nápravy**

<i>Název části</i>	<i>Průměr [mm]</i>	<i>Délka [mm]</i>	<i>Objem dle výkresu [mm3]</i>
<b>Čep (2x)</b>	174	284	6753155
<b>Prašník (2x)</b>	206	48	1599799
<b>První sedlo</b>	240	658	29767218
<b>Dřík</b>	210	905	31345633
<b>Druhé sedlo</b>	240	267	12078795
<b>Celkový objem</b>			81544600
<b>Navýšení vlivem oxidace, vznik okují 3 %</b>			<b>83990938</b>

Celkový objem je vynásoben hustotou materiálu, která je uvedena v normě ČSN 15 130 a činí 7850 kg·m<sup>-3</sup>.

Tímto výpočtem bylo zjištěno, že předvalek musí vážit 660 Kg, kdy je k němu následně započítán přídavek na upálené konce náprav, který činí zhruba 50 kg.

Na základě výpočtu byl zvolen čtyřhranný ingot o délce 1660+70 mm, který byl nejbližší vypočítanému rozměru.

- Minimální váha ingotu 790 kg
- Průměrná váha ingotu 802 kg

### 4.3 Určení teplot pro ohřev

Teplota a doba náhřevu se určuje podle průměru sedla. Při tomto výpočtu musí být splněna podmínka pro dostatečné prohřátí předvalku v celém jejich průřezu.

**Minimální doba pobytu předvalku v peci, pro splnění požadovaného prohřevu materiálu:**

- 200 mm je nahříváno 140 minut
- 210 mm je nahříváno 150 minut
- 220 mm je nahříváno 170 minut
- 230 mm je nahříváno 190 minut

- 240 mm je nahříváno 220 minut
- 250 mm je nahříváno 240 minut
- 260 mm je nahříváno 270 minut
- 280 mm je nahříváno 290 minut
- 290 mm je nahříváno 320 minut
- 300 mm je nahříváno 340 minut

Tyto teploty vyhovují kapacitě kování lisu CKN 800 a požadavkům na metalurgii ohřevu [17]

## TEPLOTY V PECNÍCH ZÓNÁCH

Materiál se ohřívá v krokové peci, která je blíže popsána v kapitole č. 2.2.2. Při průřezu 250x250 mm a vyšším udává technologický předpis pro ohřívání náprav tyto teploty

- 0. vytápěné pásmo je bez ohřevu
- 1. vytápěné pásmo dosahuje průměrné teploty 1090 °C
- 2. vytápěné pásmo dosahuje průměrné teploty 1280 °C
- 3. vytápěné pásmo dosahuje průměrné teploty 1295 °C

Během postupování předvalku pecí má náhřev zhruba lineární průběh. Pokud se zachová minimální doba pro pobyt předvalku v peci, splní se i podmínka pro dostatečné prohřátí, před začátkem operace kování.

## 4.4 Návrh postupu

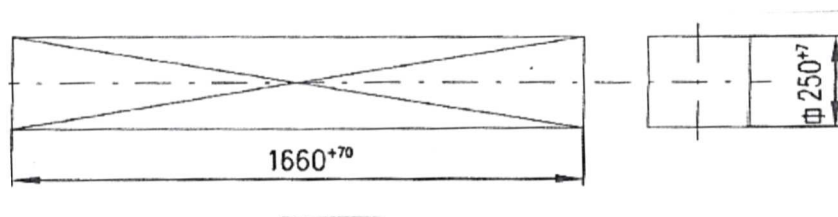
Výchozím materiálem je materiál je výše zvolená ocel s označením EA4T o rozměrech a hmotnosti:

Výška = 250+7 mm

Délka = 1660+70 mm, viz obrázek č. 24-1

Minimální hmotnost = 790 kg

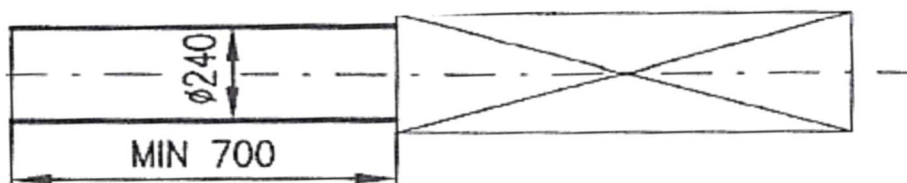
Průměrná hmotnost = 802 kg



Obrázek č. 24-1 Vstupní materiál

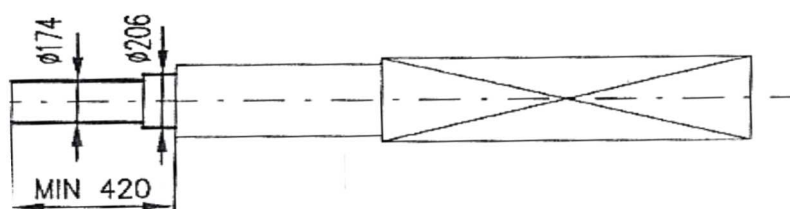


Jako první operace je rozkování čtvercového průřezu na kulatý průřez v kovádlech č. 1. Při kování musíme dosáhnout průměru sedla, což je 262 mm a minimální délky 700 mm viz obrázek č. 24-2.



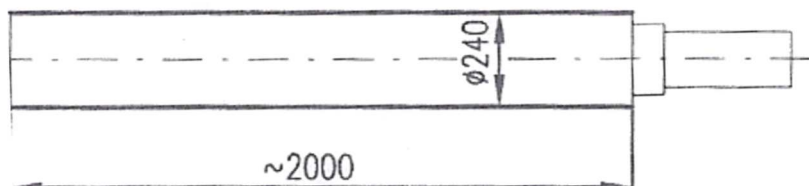
**Obrázek č. 24-2 Kování sedla**

Poté se vykove čep a prašník na kovádle č. 2. Jakmile dosáhneme požadovaného tvaru, je náprava otočena na otočném stole viz obrázek č. 24-3.



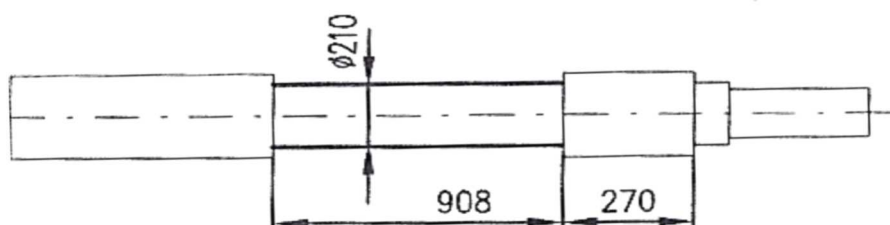
**Obrázek č. 24-3 Kování prašníku a čepu**

Manipulátor poté uchopí nápravu za vykovaný čep a kovádlem č. 1 začne lisovat druhou stranu nápravy. Průměr je opět stejný jako průměr sedla, což je 240 mm viz obrázek č. 24-4.



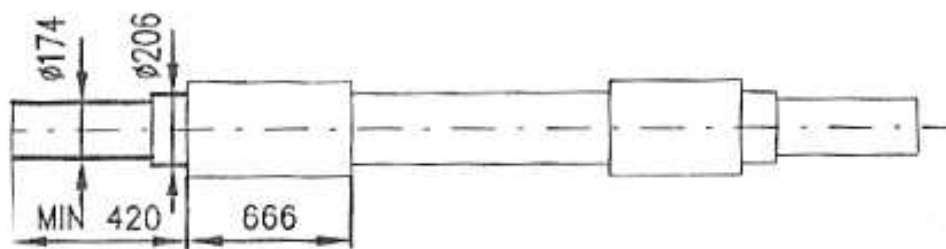
**Obrázek č. 24-4 Kování na průměr**

Po této operaci se kove dřík na kovádle č. 3. Průměr je stanoven na 210 mm, délka musí být 908 mm a je hlídáno programem, který je v poloautomatickém režimu viz obrázek č. 24-5.



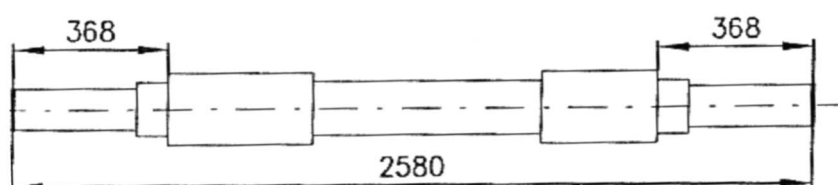
**Obrázek č. 24-5 Kování dříku**

Závěrečnou kovací operací je vykování čepu a prašníku na druhé straně kovadlem č. 2 viz obrázek č. 24-6.



**Obrázek č. 24-6 Kování prašníku a čepu**

Po kovací operaci následuje pálení konců náprav. Hodnoty jsou navýšeny o smrštění materiálu během chladnutí viz obrázek č. 24-7.



**Obrázek č. 24-7 Pálení na finální délku**

**Obrázek č. 24 (1-7) Jednotlivé operace kování nápravy**

#### 4.5 Výběr kovadel

Pro zadaný typ výrobku byl použit čtyřhranný ingot. Z tohoto důvodu bylo nutné zvolit 3 párová kovadla. Danými rozměry se tento typ moc neliší, od již zpracovaných druhů náprav, kterých firma v současnosti nabízí přes 1000 typů. Z tohoto důvodu mohou být použita již vyrobená kovadla.

#### 4.6 Teplotní režimy

Teplotní režimy pro nové typy náprav, nebo pro nové jakostní požadavky, dodává technologický útvar.

Pro určení tepelných režimů se postupuje metodou „best practice“, což je odvození, od již perfektně ověřených a nejvhodnějších režimů pro tepelné zpracování u co nejvíce shodného typu nápravy, a to jak v jakosti, hmotnosti tak průřezu, metodou, která je uvedena dál v textu.

Tyto režimy, zvláště pak dopad do mechanických hodnot, mohou zaměstnanci technologického útvaru měnit, a tak jej zlepšovat [17].

Nápravy postupně procházejí několika pecními zónami.

- 0. zóna – tato zóna je bez ohřevu
- 1. zóna – v této zóně je předehřev
- 2. zóna – ohřev materiálu
- 3. a 4. zóna – materiál setrvává na teplotě
- 5. zóna – zde se teplota vyrovnává, aby se zamezilo velkému úniku tepla při otevření vrat pece

Normalizační žíhání a ohřev materiálu na teplotu kalení

- 0. zóna – tato zóna je bez vytápění
- 1. zóna – vyhřívá se na 820 °C
- 2. zóna – zde je teplota v rozmezí 820 °C–860 °C
- 3., 4. a 5. zóna – v této části je 840 °C–880 °C

Teploty při popouštění materiálu

- 0. zóna – zde není vytápění
- 1. zóna – vyhřívá se na 520 °C–620 °C
- 2. zóna – zde je teplota v rozmezí 540 °C–630 °C
- 3., 4. a 5. zóna – v této části je 570 °C–640 °C

Tyto teploty jsou pouze informativní. Ve skutečnosti má každý typ nápravy, který má jednoznačně určen kovací postup, předepsanou teplotu v pecních zónách, stejně jako podmínky pro průchod pecí [17].

Abychom mohli stanovit režimy pro tepelné zpracování, musíme znát jakost materiálu, průměry sedel a čepů v mm a také hmotnost nápravy v kg. Teplotní režimy dále určuje délka pobytu materiálu v peci, doba kalení, teplota kalící vody, popouštěcí teplota a délka setrvání na této teplotě, hodnota ekvivalentního uhlíku [17].

Při normalizačním žíhání a ohřevu materiálu na kalící teplotu je celková doba setrvání materiálu v peci:

- Náprava, která má hmotnost do 550 kg – 6 hodin
- Náprava v rozmezí 551-750 kg – 6,5 hodiny

- Náprava nad 750 kg – 8 hodin

Jakékoli odlišnosti a změny postupu jednotlivého typu může určit pouze technolog kovářny náprav [17].

**Tabulka č. 3 Kritéria doby kalení pro jednotlivé typy nápravy [17]**

Skutečný průměr sedla [mm]	Hmotnost surová [kg]	Doba kalení [min]	
		EA1T	ostatní
Do 212	Do 490	5	10
212-222	491-525	8	12
222-228	526-550	10	12
228-240	551-624	12	18
240-258	625-690	12	18
258-284	691-910	18	18
284-300	911-1000	18	18

**Tabulka č. 4 Hodnoty pro tepelné zpracování náprav [17]**

Operace	Pobyt [min]	Zóna					Doba [min]
		1	2	3	4	5	
<i>Kalení</i>	420	820 °C	860	880	880	880	18
<i>Popouštění</i>	390	600 °C	610	630	630	630	

#### 4.7 Technologické zkoušky

Pro měření byla vybrána pro zkušební vzorek náprava č. 146 typu 227.20 z oceli EA4T po dokončení kalení a popouštění. Norma ČSN EN 13261 + A1 definuje materiálové vlastnosti pro výrobu železniční nápravy, které budou používány na evropských sítích. V této normě jsou předepsány vlastnosti náprav jak kovaných, tak válcovaných, dutých i plných EA1T a EA4T.

#### 4.7.1 Chemické složení

Tabulka č. 5 Požadované a výsledné chemické složení v % [15, 18]

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
<b>EA1T</b>	0,40	0,50	1,20	0,020	0,020	0,30	0,30	0,05	0,30	0,06
<b>EA4T</b>	0,22	0,15	0,50			0,90		0,15		
	-	-	-			-		-		
	0,29	0,40	0,80	0,020	0,015	1,20	0,30	0,30	0,30	0,06
<b>Výsledné</b>	0,29	0,28	0,75	0,011	0,004	0,04	0,18	0,210	0,210	0,042

Chemie z tavby a výrobku je pro H <2,5 ppm → kategorie 2

#### 4.7.2 Zkouška tahem a rázem

Tabulka č. 6 Definované vlastnosti pro tahovou zkoušku [15, 18]

	<b>Rp0,2 [MPa]</b> (mez kluzu)	<b>Rm [MPa]</b> (tahová pevnost)	<b>A [%]</b> (tažnost)
<b>EA1T</b>	≥ 350	550-700	≥24
<b>EA4T</b>	≥ 420	650-800	≥18
<b>Výsledné</b>	<b>642</b>	<b>776</b>	<b>18,0</b>

Dle ČSN EN 6892-1 je pro zkoušku tahem určen odběr v R/2 v místě s největším průřezem

Tabulka č. 7 Požadované vlastnosti pro zkoušku rázem [15, 18]

	<b>KU [J]</b> (podélně při 20 °C)	<b>KU [J]</b> (příčně při 20 °C)
<b>EA1T</b>	≥ 40	≥ 25
<b>EA4T</b>	≥ 40	≥ 25
<b>Výsledné</b>	60	72
	61	72
	64	70

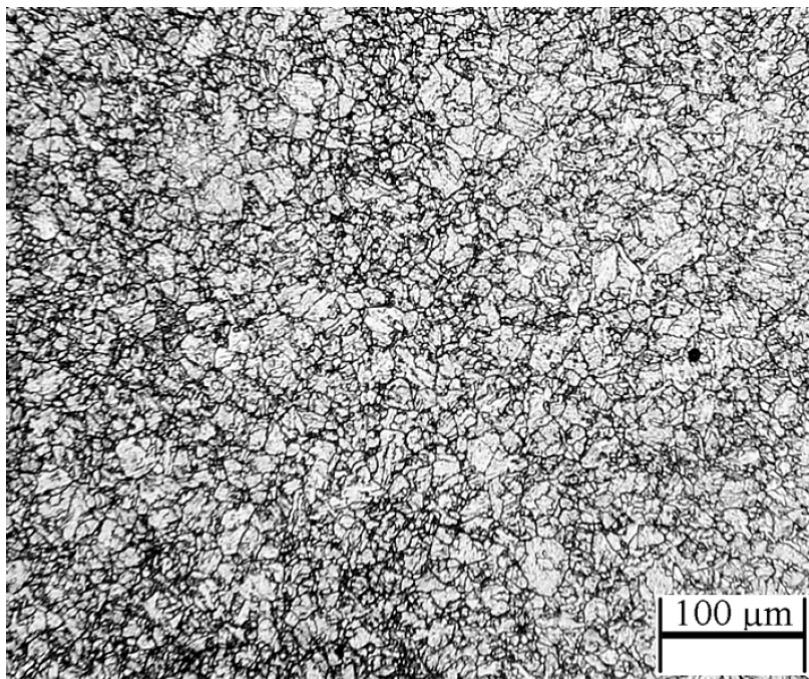
Pro rázovou zkoušku v ohybu platí dle ISO 148-1 odběr v R/2 pro 3 ks podélných a 3 ks příčných.

#### 4.7.3 Vlastnosti metalografické

Tabulka č. 8 Maximální hodnoty vměstků jemných a hrubých [14, 17]

Typ vměstků	Kategorie 1		Výsledky	
	Hrubé (maximum)	Jemné (maximum)	Hrubé (maximum)	Jemné (maximum)
A (síra)	1,5	1,5	0,5	0
B (hlinitany)	1	1,5	0	0
C (křemičitany)	1	1,5	0	0
D (globulární kysličníky)	1	1,5	0,5	1,5
B + C + D	2	3	0,5	1,5

Mikročistotu určuje ISO 4967 a odběr se provádí podle normy ČSN EN 13261 pro kritéria přijatelnosti kategorie 1. Výslednou mikrostrukturu tvoří bainit, martenzit (obrázek č. 25)



Mikrostruktura (poznámky) / Microstructure (Notes) / Mikrogefüge (Glossen):

Tavba	Poř. číslo/Umístění	Poznámka
Cast No.	Spec. No./Location	Notes
Schmelze Nr.	Probe Nr./Lage	Glossen
49969_16_T	146/1	Mikrostrukturu tvoří bainit, martenzit. / The microstructure consists of bainite, martensite. / Mikrogefüge
49969_16_T	146/1	enthaltet Bainit, Martensit.

Obrázek č. 25 Výsledná mikrostruktura

#### 4.7.4 Výsledky zpracování

##### Ohřev na teplotu kalení

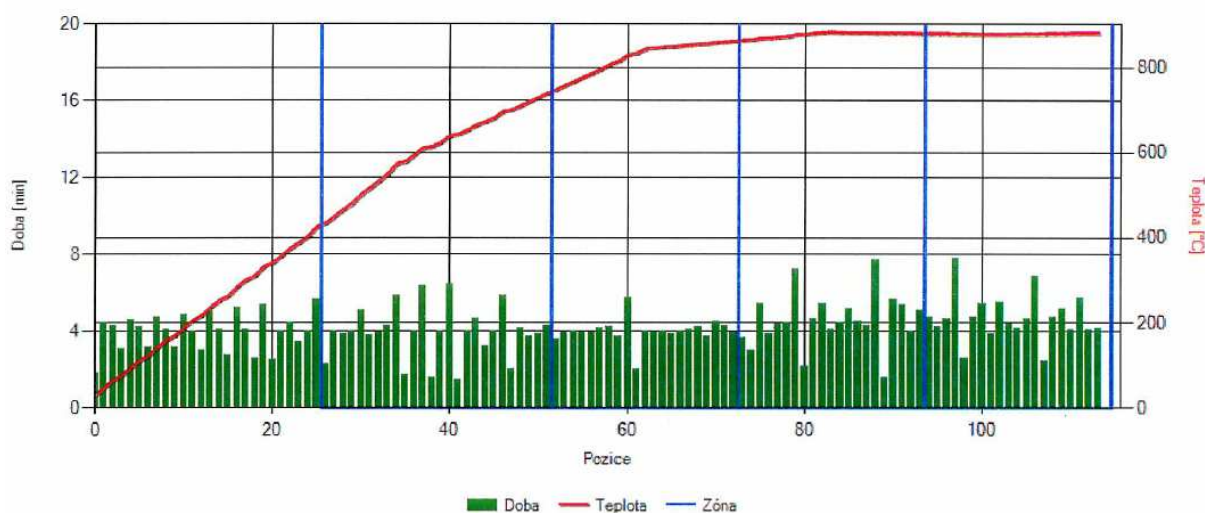
Z počítačového záznamu ohřevu na kalicí teplotu je vidět, že zadaný čas náhřevu materiálu byl prodloužen o 31 minut. Důvodem je zpoždění krokování pece. (Obrázky č. 26-1, 26-2 a 26-3)

ZAKÁZKA	TAVBA	TVP	JAKOST	POŘADOVKA
142415	49969 16 T K5	22720	A4T KAT.1	144

DRUH TZ	MÍSTO	ZAHÁJENÍ
ohřev na kalicí teplotu	chladič III	31. 1. 2017 7:11:48
	vstup do žihací pece č. 2	31. 1. 2017 10:21:08
	výstup z žihací pece č. 2	31. 1. 2017 18:29:59
	počátek kalení 1. fáze	31. 1. 2017 18:32:31
	konec kalení 1. fáze	31. 1. 2017 18:52:05

PEC	DRUH TZ	VSTUP	TEPLOTA	VÝSTUP	TEPLOTA
2	ohřev na kalicí teplotu	31. 1. 2017 10:21:08	24 °C	31. 1. 2017 18:29:59	384 °C

Obrázek č. 26-1 Doba pobytu v nahřívací peci a doba kalení [18]



Obrázek č. 26-2 Graf postupu materiálu nahřívací pecí

Zóna	DOBA [min]		TEPLOTA [°C]			
	Předpis	Skutečná	Předpis	Skutečná		
				MIN.	PRŮM.	MAX.
1		104	820	767	799	819
2		83	860	855	860	864
3		95	880	879	880	882
4		107	880	877	881	886
CELKEM	450	481				

DRUHTZ TZ	DOBA [min.]		TEPLOTA [°C]
	Předpis	Skutečnost	
Kalení	18	19	42

**Obrázek č. 26-3 Předepsaná [18] a skutečná teplota a doba pobytu v peci**

**Obrázek č. 26 (1-3) Teplotní záznam pece pro kalení u sortimentu 227.20**

### Popouštění

Během opeerace tepelného zpracování popouštěním byla doba pobytu o 2 minuty kratší. Hodnota snižená o 2 minuty pod předepsanou hodnotu, nemá vliv na výslednou jakost výrobku, vzhledem k tomu, že se neprojevalo při metalografických zkouškách. (obrázky č. 27-1, 27-2 a 27-3)

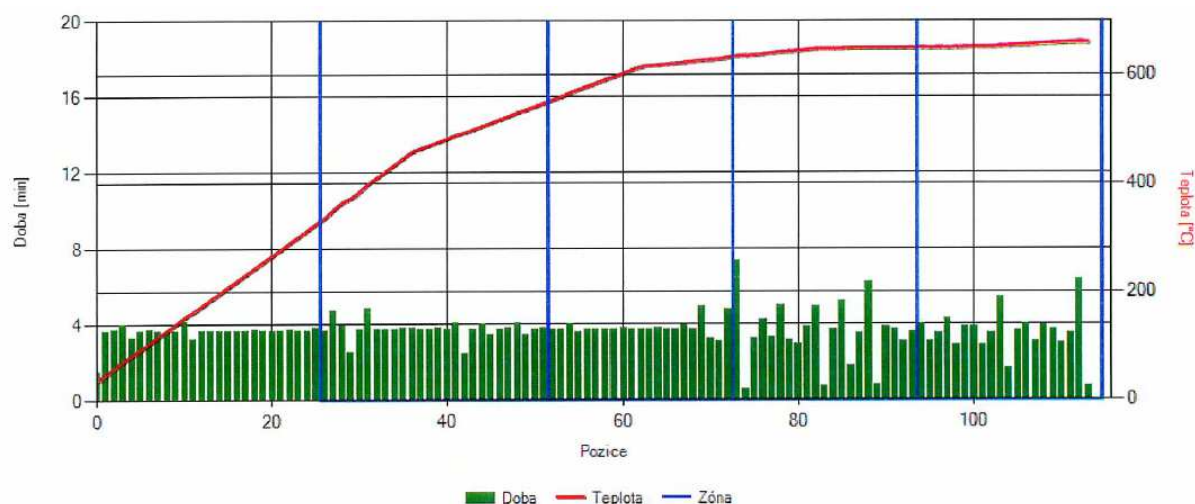
ZAKÁZKA	TAVBA	TVP	JAKOST	POŘADOVKA
142415	49969 16 T K5	22720	A4T KAT.1	144

DRUH TZ	MÍSTO	ZAHÁJENÍ
popouštění	chladník III	31. 1. 2017 21:09:22
	vstup do žhací pece č. 2	1. 2. 2017 2:32:53
	výstup z žhací pece č. 2	1. 2. 2017 9:37:42

PEC	DRUH TZ	VSTUP	TEPLOTA	VÝSTUP	TEPLOTA
2	popouštění	1. 2. 2017 2:32:53	33 °C	1. 2. 2017 9:37:42	303 °C

**Obrázek č. 27-1 Doba chladnutí na chladníku a pobyt v popouštěcí peci**





**Obrázek č. 27-2 Graf postupu materiálu popouštěcí pecí**

Zóna	DOBA [min]		TEPLOTA [°C]			
	Předpis	Skutečná	Předpis	Skutečná		
				MIN.	PRŮM.	MAX.
1		97	610	606	610	614
2		79	630	624	629	633
3		76	650	642	649	654
4		81	650	642	649	661
CELKEM	420	418				

**Obrázek č. 27-3 Předepsaná [18] a skutečná teplota a doba pobytu materiálu v peci**

**Obrázek č. 26 (1-3) Teplotní záznam pece pro popouštění u sortimentu 227.20 [18]**

## 5 ZÁVĚR

Prvotním cílem bylo zpracovat postup výroby nového typu nápravy, dle zadaného výkresu od zákazníka. Po přijetí zakázky byly stanoveny přídavky, které byly ve shodě s technologií a možnostmi výroby náprav. Vypracovaný návrh byl schválen a poté začal vznikat postup technologický. Byl vypracován výpočet pro zjištění rozměru předvalku s vypočtenými tolerancemi. Ohřev materiálu v krokové peci byl určen předpisem DTP (detailní technologický postup), tak aby splnil všechna zadaná kritéria. Byly zpracovány kovací operace a navržena kovádkla vhodná pro výrobu, tak aby byly splněny vypočteny rozměry a meze tolerancí pro kování nového typu nápravy. Následně bylo vyřešeno tepelné zpracování, zpracován teplotní a časový režim. Po vykování a zpracování nápravy 227.20 byly odebrány vzorky pro zkoušení. Hodnoty zkoušení odpovídaly hodnotám předepsaným v normě ČSN EN 13261 + A1.

## Seznam použité literatury

1. BALCÁREK, V., P. SOBOL, R. WOLEK, P. KLUSKOVÁ, P. JANOS a P. KUFO. *50&10 BONATRANS*. Ostrava: Tiskárna Graico s.r.o, 2009.
2. *Dvojkolí* [web]. Bohumín: Bonatrans, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.ghh-bonatrans.com/cs/vyrobky-a-sluzby/dvojkoli/>
3. WEBER, Jiří a Petr PLACHÝ. *Tváření a tepelné zpracování železničních kola a náprav v GHH-BONATRANS GROUP* [ppt]. In: . [cit. 2017-04-19]
4. ZERBST, U., BERETTA, S., KÖHLER, G., LAWTON, A., VORMWALD, M., BEIER, H., KLINGER, C., ČERNÝ, I., RUDLIN, J., HECKEL, T., KLINGBEIL, D. Safe life and damage tolerance aspects of railway axles – A review. *Engineering Fracture Mechanics* 98 (2013) 214-271.
5. ZERBST, U., KLINGER, C., KLINGBEIL, D. Structural assessment of railway axles – A critical review. *Engineering Failure Analysis* 35 (2013) 54-65.
6. HIRAKAWA, K., TOYAMA, K., KUBOTA, M. The analysis and prevention of failure in railway axles. *International Journal of Fatigue* 20 (1998) 135-144.
7. *DTP 21-012 Kovárna náprav, materiálový tok, kontrola a evidence výroby*. 2015. Bonatrans Group, 2015.
8. GREGER, Miroslav. *Kování*. Ostrava, 2008.
9. JURKOVÁ, Lucie. *Vliv vybraných parametrů zušlechťování na mechanické a metalografické charakteristiky oceli A4T při výrobě železničních náprav v Bonatrans Group a.s.* Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
10. *AAR Manual of Standards and Recommended Practices: Wheels and Axles* [pdf]. 2011, , 21-60 [cit. 2017-04-19].
11. *Tepelné zpracování* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2815743/>
12. KASTERKO, Radomír, Jiří WEBER a Jana JEDLIČKOVÁ. *Učební texty: Interní Dokument*. 2014. Bonatrans Group, 2014.
13. *Zkušebna* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://bonatrans.prohl.cz/cs/jakost/>
14. JENDŘEJČÍK, Z. *Struktura a zkoušení materiálu: Skripta BONATRANS Bohumín*. Bonatrans Group, 2006.
15. ČSN EN 13261+A1. *Železniční aplikace - Dvojkolí a podvozky - Nápravy - Požadavky na výrobek*. 2011.

16. *DTP 21-014 Ohřívací pec předvalků na kovárně náprav.* 2015. Bonatrans Group, 2015.
17. KAIZAR, Libor. *Tepelné zpracování náprav v rekonstruovaných krokových pecích č. 1 a 2.: Interní dokument.* Bonatrans Group.
18. LABORATOŘ BONATRANS GROUP. *INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT MATERIÁLU.* Bonatrans Group, 2017.